

# Consistency Relation For Multi-Field Inflation Scenario

著者	杉山 尚徳
number	56
学位授与機関	Tohoku University
学位授与番号	理博第2719号
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/56819">http://hdl.handle.net/10097/56819</a>

氏名・(本籍)	すぎ やま なお のり 杉 山 尚 徳
学 位 の 種 類	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 2 7 1 9 号
学位授与年月日	平 成 24 年 9 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研究科, 専攻	東北大学大学院理学研究科 (博士課程) 天文学専攻
学位論文題目	Consistency Relation For Multi-Field Inflation Scenario (多重場インフレーションシナリオに対する無矛盾条件)
論文審査委員	(主査) 教 授 二間瀬 敏 史 教 授 斉 尾 英 行 教 授 千 葉 証 司 准教授 服 部 誠

## 論 文 目 次

Chapter 1, Introduction  
Chapter 2, Inflation Scenario  
Chapter 3, Physics on Super Horizon Scales  
Chapter 4, The  $\delta N$  formalism  
Chapter 5, Consistency Relation  
Chapter 6, Conclusion  
Appendix A: Einstein Equations  
Appendix B: Gauge Conditions  
Appendix C: The Proof of the triple coincidence  
Appendix D: Adiabaticity of the Universe

## 論 文 内 容 要 旨

Inflationary universe scenario is now regarded as the most important contribution in the study of modern cosmology. The scenario explains not only homogeneity and isotropy of our universe, but also the origin of structures we see today. It also opens a possibility to investigate physics in the early universe by observing fluctuation fields such as matter density field and Cosmic Microwave background Temperature field. Although Non-Gaussianity in the fluctuation fields is small compared with Gaussianity, it carries important informations characteristic to physics in the inflationary scenario. Thus the theoretical as well as observational study of Non-Gaussianity attract much attention recently.

The thesis also studies Non-Gaussianity generated in the inflationary scenario. Non-Gaussianity is characterized by various  $n$ -point functions in the fluctuation fields. We proved a consistency relation between parameters describing the 3-point and 4-point functions using the  $\delta N$  formalism which is a convenient method to calculate the fluctuation observed today from the curvature fluctuation generated by quantum fluctuation of inflaton fields at the period of inflationary expansion. Therefore, we first investigate the conditions to use the  $\delta N$  formalism in detail, which have not been clearly proved before. As a result, we summarize the conditions for the applicability of the  $\delta N$  formalism in the calculation of  $n$ -point functions.

Next, we calculated the power spectrum(2-point function), bispectrum(3-point function) and trispectrum(4-point function) including the contributions of all higher order loop corrections for general multi-field models of inflationary scenario. The inequality known as Suyama-Yamaguchi(SY) inequality between parameters characterizing 3 and 4-point functions is known in the tree level(no-loop correction). We are able to prove SY inequality taking into account all higher loop corrections under the assumption that the pole approximation dominates the higher order loop integral. It has been known that large class of inflationary models satisfy the above inequality. Thus if the observation implies the violation of the SY inequality, these inflation models are rejected for the mechanism to generate the observed fluctuations. Especially, since all known multi-scalar fields models satisfy the SY inequality, the violation of the SY inequality will rule out all the existing multi-field inflation models.

## 論文審査の結果の要旨

現在の宇宙論の最も大きな成果の一つは、宇宙初期に起こったインフレーションと呼ばれる急激な膨張の予言である。インフレーション膨張は宇宙の一樣・等方性の説明など概念的な問題の説明にとどまらず銀河、銀河団など現在の宇宙の構造の種である密度揺らぎの起源を説明することができる。したがってこの初期密度揺らぎがもたらすに宇宙マイクロ波背景放射の温度揺らぎの統計的な性質を観測することで、初期宇宙に起こったインフレーション理論を検証することができる。

現在の問題点はインフレーションを起こし、現在までの温度揺らぎの観測と矛盾しない理論モデルが多数あり、その中のどれが現実を記述しているのかが分からないことである。しかしモデルごとに生成する密度揺らぎの非ガウス性に違い、それが引き起こす温度揺らぎの非ガウス性も違ってくる。したがって温度揺らぎの非ガウス性を観測することによって、少数のインフレーションモデルを選択することが可能になる。

杉山尚徳氏の研究は、この非ガウス性の生成と成長を計算するための理論的な定式化、およびそれを用いた温度揺らぎの3点相関関数、4点相関関数の計算に関するものである。非ガウス性はインフレーションを引き起こすインフラトン場の非線形相互作用や成長の際における背景時空との非線形相互作用から生成される。杉山氏は特に後者の非線形相互作用によって計算過程で洗われるすべての次数の高次効果を計算し、一部の非ガウス性を期日するパラメータ間にある不等式が成り立つことを示したものである。この研究は彼が独自に考えたテーマであり、当然計算、論文執筆も彼自身で行い、欧文学術雑誌に掲載された。博士論文はこの研究成果とそれ以遠に彼が行ったやはりインフレーション理論に関連した研究にもとづくものである。

このように本論文は、現代宇宙論において重要な役割を果たすインフレーション理論により生成される密度揺らぎの非ガウス性と観測量である宇宙マイクロ波背景放射の温度揺らぎの非ガウス性を結びつける重要な研究であり、非常に高く評価される研究であり、その研究の一部はすでに査定ありの学術論文3本（内1本は単著）が掲載されている。以上のことは、筆者が自立して研究活動を行うに必要な研究能力と学識を有することを示している。したがって杉山尚徳提出の論文は博士（理学）の学位論文として合格と認める。